21

Aides visuelles en endodontie

J.-P. MALLET, É. DEVEAUX

Le nettoyage, la mise en forme et l'obturation hermétique sont nécessaires pour obtenir une guérison en endodontie, aussi bien lors du traitement initial que lors du retraitement orthograde. Pour les chirurgies endodontiques, la bonne gestion de la préparation apicale et de son obturation hermétique est indispensable. Compte tenu de l'importance des variations anatomiques rencontrées au cours des thérapeutiques endodontiques, une bonne connaissance de la morphologie du canal radiculaire est importante (Weine *et al.,* 1969 ; Sjögren *et al.,* 1990 ; Wolcott *et al.,* 2002).

L'éclairage focalisé et les dispositifs de grossissement, associés à l'utilisation de micro-instruments, ont considérablement amélioré la capacité du clinicien à appréhender l'endodontie et ont directement participé à l'amélioration de la qualité des traitements (Kim, 1997).
Introduits en endodontie dans les années 1990, les outils de grossissement les plus courants sont les loupes et le microscope opératoire (Rubinstein, 1997 ; Rubinstein et Kim, 1999) et, plus récemment, l'endoscope (von Arx *et al.,* 2002 ; Bahcall et Barss, 2003). Les caméras intrabuccales, quant à elles, peuvent rendre service lors de la communication avec le patient. Cependant, comme pour l'endoscope, leur utilisation pendant l'acte opératoire reste complexe car, d'une part, elle ne procure qu'une image en 2 dimensions sur un écran de contrôle et d'autre part nécessite leur tenu d'une main de l'opérateur, ce qui est difficilement compatible avec le travail au fauteuil. Elles présentent finalement peu d'intérêt en endodontie et le chapitre qui leur est consacré ne sera pas descriptif. Les indications des aides visuelles sont nombreuses car celles-ci sont directement associées à l'augmentation de la précision des procédures et à une meilleure visualisation de la zone d'intérêt. Elles permettent de détecter des isthmes, des canaux accessoires ou des microfractures radiculaires, difficiles à observer et à traiter en l'absence d'un bon grossissement (Coelho de Carvalho et Zuolo, 2000 ; Schwartz *et al.,* 2002 ; Slaton *et al.,* 2003 ; Von Arx *et al.,* 2003 ; Rampado *et al.,* 2004 ; Von Arx, 2005). Il a été également démontré que l'utilisation de loupes et, surtout, du microscope opératoire diminuait, chez le praticien, le nombre de pathologies induites liées au stress et aux mauvaises positions de travail, en améliorant l'ergonomie et la posture de l'opérateur.

I - Aides visuelles

A - Définition

Au sens littéral, les aides optiques regroupent l'ensemble des appareils visant à corriger une déficience visuelle, à compenser une incapacité visuelle et à prévenir ou à réduire une situation de handicap.

En odontologie, les aides visuelles sont les outils qui se situent dans l'interface visuelle entre l'opérateur et le site opératoire. Elles permettent notamment de grossir le champ d'observation. Même si certains outils peuvent corriger quelques défauts visuels, le but des aides visuelles est de faciliter l'acte opératoire.
Les systèmes grossissants utilisés en endodontie ne remplacent donc pas les dispositifs de correction de l'acuité visuelle. Associés à ceux-ci, ils apportent une meilleure ergonomie et une position naturelle de travail, d'une part, et un ~~inconfort~~ visuel permettant d'accéder à des détails invisibles à l'œil nu, quelles que soient les performances visuelles, d'autre part.

B - Historique

Si l'utilisation du microscope opératoire en chirurgie ophtalmologique a été préconisée dès les années 1960 aux États-Unis et en Europe (Harms et Mackensen, 1967), elle a également été proposée en odontologie en France dès cette époque par les docteurs Boussens et Ducamin de l'Université de Bordeaux. En 1981, Apotheker introduit l'idée que des améliorations considérables de l'acuité visuelle, rendues possibles grâce à l'utilisation du microscope opératoire, seraient bénéfiques à la discipline de l'endodontie (Apotheker, 1981). Cependant, le travail en position debout et l'utilisation d'un seul niveau de grossissement rendent impossible son utilisation de manière routinière. À la fin des années 1980, Carr, en travaillant avec Tanaka sur l'articulation temporo-mandibulaire en laboratoire d'anatomie, découvre l'intérêt du microscope lors de ses dissections. Il conclut que le microscope opératoire associé à un éclairage peut être utile en endodontie et, en particulier, conduire à l'amélioration des résultats des chirurgies endodontiques apicales (Carr, 1992 et 1993). Au

6684_.indb 451 10/08/12 12:05

cours des années 1990, d'autres endodontistes, tels Ruddle (1994 et 1997), Buchanan, Arens, Stropko et Kim, commencent à promouvoir le microscope opératoire en endodontie à la fois pour le traitement endodontique initial, le retraitement et la chirurgie endodontique. En 1998, l'American Association of Endodontics (AAE) décide d'imposer l'utilisation des microscopes opératoire dans tous les programmes postuniversitaires accrédités dans la délivrance de la spécialité en endodontie.

Important ! Historiquement, la loupe est le premier et le plus simple des systèmes optiques grossissants. Elle a été adaptée en système frontal, puis améliorée en téléloupe avant d'être rendue plus performante par l'adjonction de sources lumineuses. Néanmoins, son pouvoir de grossissement reste limité et dépasse rarement le grossissement × 2,5.

C - Intérêt des aides visuelles : mieux voir pour mieux comprendre

La nécessité de mieux voir pour mieux comprendre est l'apanage de toute profession qui exerce son activité sur des objets dont la taille est inférieure au millimètre. En cela, l'odontologie peut être rapprochée d'autres spécialités médicales telles que l'ophtalmologie, l'oto-rhino-laryngologie, la chirurgie orthopédique, la dermatologie, la neurochirurgie ou encore la chirurgie vasculaire qui, depuis de nombreuses années, voire des décennies, utilisent des aides optiques de travail.

Les grands principes des aides visuelles dans ces spécialités sont :
- un grossissement du champ opératoire de × 4 à × 40 pour une distance de travail de 200 à 300 mm ;
- la conservation d'une vision stéréoscopique et donc binoculaire ;
- l'association d'un éclairage du champ opératoire impliquant la confusion des champs optiques et lumineux.

1 - Distance de travail

La distance de travail correspond à celle qui sépare la zone de travail de l'aide visuelle. Elle est propre à chaque opérateur car elle dépend de sa taille mais surtout de la longueur de ses bras et de ses avant-bras. Elle sera déterminée par une posture dorsale rectiligne ergonomique. Cela met chaque patient à une distance fixe en fonction du praticien qui le soigne.

2 - Éclairage

Important ! À partir de 40 ans, la demande d'éclairage par le praticien double tous les 10 ans. Cette notion impose un éclairage périphérique de la pièce du cabinet, qui doit être adapté à son exercice en fonction de son âge, mais également à une illumination précise de la zone de travail. Ce besoin d'éclairage est bien souvent à l'origine de l'augmentation des aberrations de la vision.

3 - Influence des aberrations sur la vision

L'augmentation des aberrations (myopie, astigmatisme, presbytie) diminue la perception des images et impose progressivement une diminution de la distance de travail nécessaire à une bonne vision. Ainsi l'accommodation devient de plus en plus importante et la posture de travail est perturbée.

Les performances de l'opérateur diminuent et son état de fatigue s'en ressent. Celui-ci perd petit à petit la finesse de perception des images : le cercle infernal de la baisse de la vision est déclenché *(fig. 21.1)*.

En endodontie, le travail s'effectue dans des volumes de profondeur de quelques millimètres pour la cavité d'accès et de 10 à 20 mm pour l'espace canalaire. L'endodontie est donc bien une spécialité de microchirurgie à part entière. Les aides optiques se justifient notamment pour :
- profiter d'une image agrandie ;
- optimiser les détails ;
- assurer la précision du geste ;
- confirmer un diagnostic ;
- augmenter la vitesse d'exécution ;
- préserver une vision sans fatigue ;
- conserver une distance de travail ergonomique.

Essentiel : toutes ces notions imposent de privilégier une qualité optique maximale tant pour la surface observée que pour la profondeur de champ requise, et ce surtout à de forts grossissements.

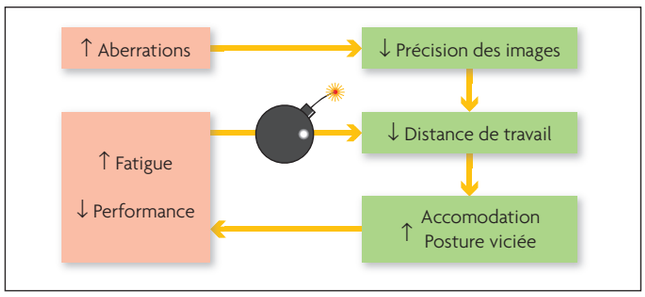


Figure 21.1 Influence des aberrations sur la vision.

II - Œil humain

Quelques notions d'optique physiologique sont nécessaires à la bonne compréhension des impératifs demandés aux aides optiques.

A - Description de l'œil humain

L'œil humain *(fig. 21.2)* est l'organe des sens essentiel à la perception du monde qui nous entoure par l'acquisition constante des informations nouvelles que notre cerveau

6684_.indb 452 10/08/12 12:05

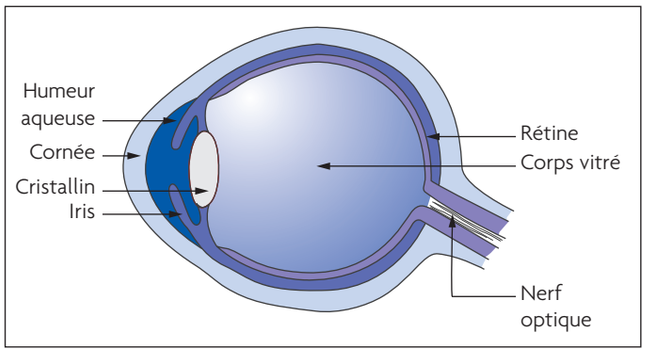


Figure 21.2 Coupe schématique de l'œil.

reçoit de notre environnement. Plus de 80 % des informations sensorielles que notre cerveau reçues par parviennent de la vision.
La cornée, l'iris et le cristallin sont trois éléments majeurs qui permettent de focaliser les rayons lumineux sur la rétine, réalisant ainsi une vision nette.
L'iris réagit à la lumière en modifiant la taille de la pupille, permettant à l'œil de s'adapter aux variations d'intensité de la lumière.
Le cristallin, lentille biconvexe située en arrière de l'iris, est le second dioptre oculaire majeur de l'œil.
Dans le cas d'un œil dit normal sur le plan de l'optique, qualifié d'œil emmétrope, la vision de loin est nette sans effort ni lunettes.
Le système optique qui forme l'œil comporte deux lentilles convergentes : la cornée (baignant dans l'air et l'humeur aqueuse et constituant les deux tiers de la puissance optique du globe oculaire) et le cristallin (baignant dans l'humeur aqueuse et le corps vitré). La puissance du cristallin varie au cours de l'accommodation, permettant ainsi de faire la mise au point à différentes distances chez un sujet non presbyte.
Les rayons lumineux qui traversent la cornée et le cristallin donnent sur la rétine une image de l'objet fixé. Les photorécepteurs vont ensuite transmettre l'information qui sera véhiculée le long des voies optiques jusqu'aux centres visuels. Ce que l'on perçoit est donc une extériorisation, une « projection » dans l'espace, des informations traitées par la rétine, les voies et centres visuels, notamment ceux du cortex.

B - Optique physiologique

1 - Œil emmétrope

L'image d'un objet à l'infini se forme sur la rétine quand l'accommodation est relâchée, cet œil ne présente pas de défaut de réfraction. Avec une vision normale, les rayons lumineux sont focalisés par le cristallin sur la rétine. L'image que nous percevons consciemment n'est réalisée que dans le cerveau, plus précisément lorsque le cortex visuel du cervelet est atteint. Les signaux en provenance des yeux ont encore des liaisons avec d'autres endroits du cerveau, par exemple pour le sens de l'équilibre.

2 - Formation de l'image

Si l'on considère que les surfaces optiques des différents dioptres oculaires sont des surfaces de révolution de rayon de courbure régulier sur toute leur surface, l'œil produit d'un point, objet réel, une image qui sera également un point. Si l'image d'un point objet se forme sur la rétine, l'image focalisée sur la rétine est perçue nettement. Si l'image d'un point objet ne se forme pas sur la rétine, l'image est alors défocalisée et est perçue comme floue.
La vision normale est une vision binoculaire responsable de la sensation de distance et du relief. Cette sensation est due à la superposition des images rétiniennes et à la fusion des deux perceptions correspondantes de chaque œil. Ces deux images ne sont pas identiques, elles diffèrent d'autant plus que l'objet est rapproché. De la même façon, la notion de relief diminue au fur et à mesure de l'éloignement de l'objet. Dans la vision normale, le mécanisme de l'accommodation nous permet de voir nettement l'un après l'autre, mais non simultanément, des objets situés à des distances différentes.

3 - Champ visuel

C'est le champ de lecture optique composé de la vision centrale et de la vision périphérique.

Le champ visuel est plus grand dans le sens horizontal que vertical (ce qui explique par exemple la norme des diapositives en 24 × 36). Cette largeur de champ représente un angle de vision de 40° sans effort à 80° avec effort.

4 - Profondeur de champ

La profondeur de champ est la distance qui sépare les parties extrêmes de l'objet qui sont vues nettement, sans variation de mise au point ou d'accommodation visuelle par l'opérateur. On en distingue le *punctum remotum,* le point le plus éloigné qu'un œil peut voir nettement sans accommoder. Sa distance (D) par rapport à l'œil définit la distance maximale de vision distincte. Le *punctum proximum* est, quant à lui, le point le plus rapproché qui peut être distingué par l'œil grâce à sa faculté d'accommodation. Sa distance *(d)* par rapport à l'œil est la distance minimum de vision distincte. Si D et *d* sont exprimés en mètre, leur inverse (1/D et 1/*d*) l'est en dioptries. Le rapport 1/*d* – 1/D est l'amplitude dioptrique d'accommodation, valeur importante à connaître pour régler convenablement les objectifs des appareils optiques.
Chez une personne jeune et emmétrope, le *punctum remotum* est à l'infini et le *punctum proximum* à moins de 25 cm du cristallin *(fig. 21.3).*

6684_.indb 453 10/08/12 12:05

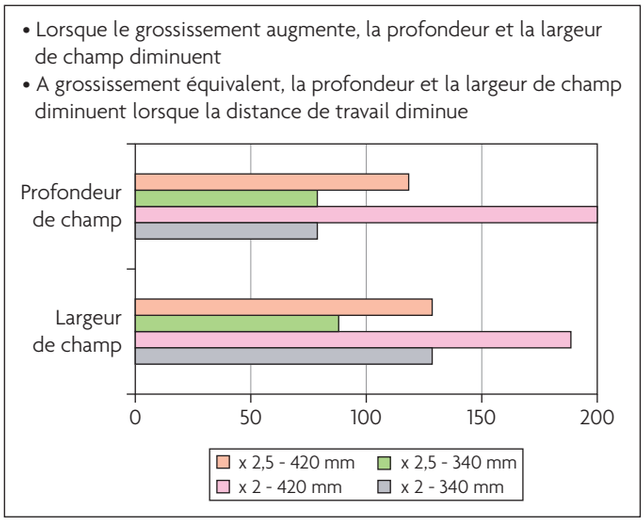

• Lorsque le grossissement augmente, la profondeur et la largeur de champ diminuent
• A grossissement équivalent, la profondeur et la largeur de champ diminuent lorsque la distance de travail diminue
Profondeur de champ
Largeur de champ
0
50
100
150
200
x 2,5 - 420 mm
x 2,5 - 340 mm
x 2 - 420 mm
x 2 - 340 mm

Figure 21.3 Champ de vision et profondeur de champ.

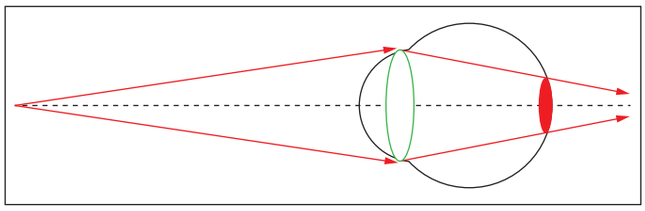


Figure 21.5 Production de l'image avant l'accommodation.

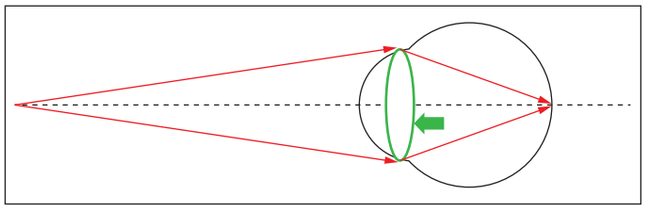


Figure 21.6 Production de l'image durant l'accommodation.

5 - Accommodation

Il s'agit de la capacité à voir nettement des objets à des distances différentes grâce à la déformation du cristallin s'adaptant pour maintenir une vision claire. Le pouvoir d'accommodation d'un individu est directement lié, entre autres, à la fatigue. Au cours de la lecture ou de toute autre activité visuelle de près, le cristallin va se déformer sous l'action du corps ciliaire, muscle circulaire auquel il est relié par une infinité de petites fibrilles. Cette accommodation permet de refocaliser automatiquement et sans effort les images sur la rétine afin d'obtenir une vision nette en vision rapprochée.

a - Vision de loin

Lorsque l'objet observé est éloigné, l'image du point objet fixé est sur la rétine *(fig. 21.4).*

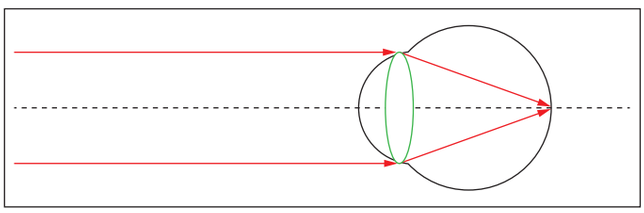


Figure 21.4 Production de l'image en vision de loin.

b - Si l'objet est rapproché

Avant accommodation, l'image du point objet fixé se forme en arrière de la rétine. L'objet apparaît comme flou *(fig. 21.5).*
Après accommodation, l'image du point objet fixé est sur la rétine. La vision est nette.
Le cristallin s'est bombé, sa puissance augmente *(fig. 21.6).*

c - Si l'œil accommodé regarde de nouveau un objet éloigné.

Avant le relâchement de l'accommodation, l'image du point fixé se forme en avant de la rétine. L'objet est flou *(fig. 21.7).*
Après le relâchement de l'accommodation, l'image du point fixé est à nouveau sur la rétine. La vision est nette *(fig. 21.8).*

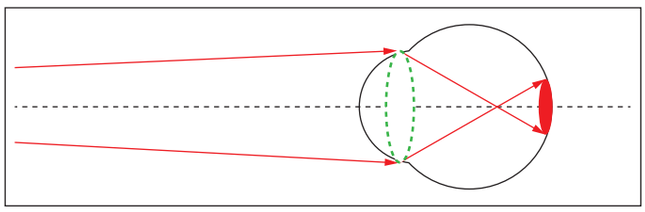


Figure 21.7 Production de l'image au relâchement de l'accommodation.

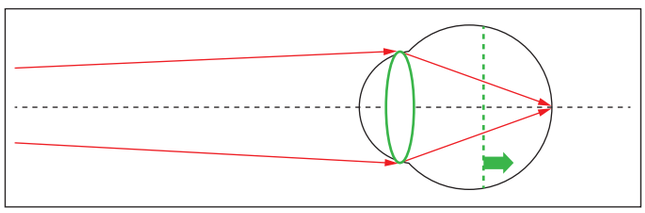


Figure 21.8 Production de l'image après accommodation.

6 - Acuité visuelle

L'acuité visuelle, un des critères de « bonne vision », correspond à la performance de discrimination de 2 points.
L'acuité visuelle de l'œil emmétrope varie avec l'âge et les méthodes d'examen. Sa dégradation survenant avec l'âge est liée à des changements structuraux incluant des modifications

6684_.indb 454 10/08/12 12:05

dans les performances optiques de l'œil, la perte de récepteurs et d'autres éléments neuronaux impliqués dans le système de la vision. La vitesse de perception, l'état de vigilance, l'émotivité ainsi que l'hypoxie sont également des facteurs de variation individuelle de l'acuité visuelle.

7 - Compensation des défauts optiques sphériques (hors astigmatisme)

Le principe d'une compensation optique est d'assurer à l'amétrope, personne présentant une anomalie de position du point de vision situé hors du plan de la rétine (myopie, hypermétropie), une vision nette et sans fatigue.

a - Myopie

L'œil présente le plus souvent une anomalie dite axiale. Lorsque l'accommodation est relâchée, l'image d'un objet éloigné est focalisée en avant de la rétine *(fig. 21.9)*.
Le myope non corrigé conservera toujours sa vision de près, même à l'âge de la presbytie. Un œil myope sera compensé par un verre « divergent » (de puissance négative) *(fig. 21.10)*.

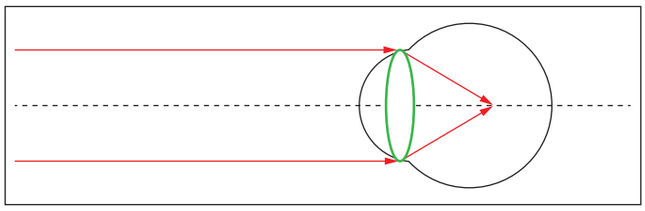


Figure 21.9 Myopie : production de l'image en avant de la rétine.

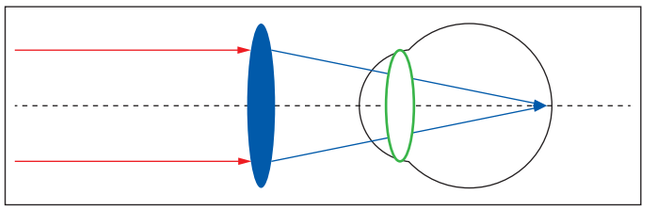


Figure 21.10 Myopie : production de l'image corrigée par une lentille divergente.

b - Hypermétropie

Lorsque l'accommodation est relâchée, l'image d'un objet éloigné est focalisée en arrière de la rétine. Cependant, la vision de loin peut être nette si l'œil a suffisamment de pouvoir accommodatif pour compenser le défaut de réfraction.
L'œil hypermétrope présente un déséquilibre axial en étant en quelque sorte trop petit par rapport à sa puissance dioptrique totale *(fig. 21.11)*.
Un œil hypermétrope sera compensé par un verre « convergent » (de puissance positive) *(fig. 21.12)*.

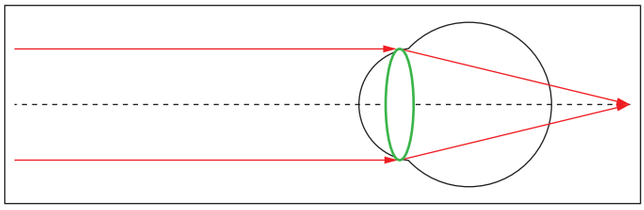


Figure 21.11 Hypermétropie : production de l'image en arrière de la rétine.

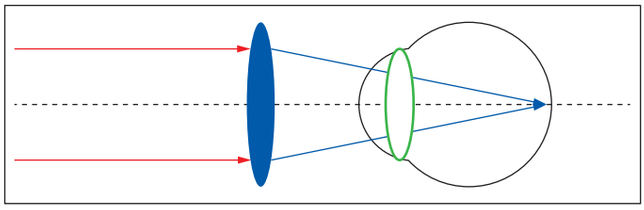


Figure 21.12 Hypermétropie : production de l'image corrigée par une lentille convergente.

c - Astigmatisme

Lorsque l'œil est astigmate, la perception d'un point est déformée (ellipse, segment de droite). L'œil astigmate ne voit théoriquement jamais net. Souvent associé à la myopie ou à l'hypermétropie, l'astigmatisme augmente alors le trouble visuel.

d - Presbytie

Au-delà de la quarantaine, l'œil emmétrope devient presbyte : la vision de loin est normale et seule la vision de près diminue. La presbytie se définit par la perte progressive de l'accommodation.

III - Outils d'aides visuelles

A - Loupes

Ces systèmes optiques offrent des grossissements et des distances de travail fixes et définis au départ.

1 - Loupes simples

La loupe est la forme la plus simple d'aide visuelle de grossissement. Appelées également *flip-up,* les loupes simples sont des systèmes optiques qui ne présentent qu'un seul élément grossissant pour les deux yeux. De grossissement optique × 0,7 à × 2, ils multiplient d'autant l'acuité visuelle. Toutefois, les facteurs de grossissement sont commercialement augmentés afin de compenser la réduction des distances de travail (de 12,5 à 35 cm), distances d'autant plus réduites que le grossissement est important *(tableau 21.1)*.

6684_.indb 455 10/08/12 12:05

Tableau 21.1 Valeurs optiques obtenues par des loupes simples.

Grossissement (grandissement optique)	0,7	1,0	1,5	2
Grossissement commercial	1,7	2,0	2,5	3,0
Distance de travail (mm)	350	250	166	125

2 - Loupes binoculaires

La loupe binoculaire est en réalité un stéréo-microscope qui fournit une image tridimensionnelle de faible grossissement. La solution à un problème de grossissement lié à une distance de travail raisonnable est constituée par la téléloupe. Il s'agit d'une loupe combinée avec un télescope. La fonction de la loupe n'est pas de grossir l'objet observé mais de le reproduire dans un plan éloigné qui est celui de la netteté du télescope. C'est le télescope qui reproduit le grossissement proprement dit.

Deux principes optiques peuvent être appliqués pour réaliser des téléloupes :

- le principe optique de la lunette de Galilée, qui se rapproche de l'effet d'un verre épais. L'œil capte les rayons lumineux de la formation de l'image qui traversent les zones marginales du système de Galilée avec toutes leurs aberrations ;
- le principe optique du système de Kepler, qui présente un rayon principal passant toujours par le centre de l'objectif ainsi qu'un diaphragme réel dans le champ visuel duquel les aberrations sont à peine perçues.

Pour ces raisons, les lunettes de Galilée sont réservées à des grossissements relativement faibles en binoculaire, jusqu'à environ × 2,5. Les téléloupes qui adoptent le système de Kepler seront quant à elles équipées de prismes redressant l'image inversée et offrent un libre choix du facteur de grossissement et de la distance focale.

En odontologie, les grossissements compris entre × 3,2 et × 7 et des distances de travail de 250 à 450 mm sont habituels *(fig. 21.13)*.

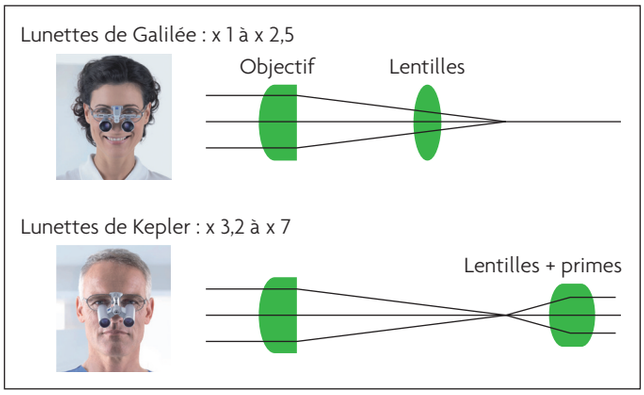


Figure 21.13 Principes optiques des loupes binoculaires.

Remarque : la limitation de l'utilisation des téléloupes, outre les grossissements, réside également dans l'éclairage du site observé.

De nombreuses solutions sont dorénavant proposées de façon à apporter sur les montures un flux lumineux. Il sera de type halogène, xénon ou plus récemment LED (diodes électroluminescentes). Cet éclairage doit être réglé afin de faire converger au maximum les flux lumineux et optiques. Ces systèmes présentent cependant deux inconvénients majeurs, à savoir le poids du dispositif qui impose souvent d'une part le port d'un casque support des systèmes optiques et de la source lumineuse, et d'autre part, parfois, la connexion par une fibre au générateur de lumière situé à distance. De plus, la puissance du flux lumineux des générateurs est limitée, ce qui en réduit considérablement l'efficacité. La technologie LED vise à résoudre tous ces inconvénients par une basse demande d'énergie et un allègement des loupes.

Les caractéristiques communes des loupes sont :

- le grossissement et la distance de travail qui sont définis au départ en fonction de l'opérateur ;
- les systèmes de monture, de distance interoculaire et d'inclinaison des optiques qui sont adaptées à l'opérateur.

Généralement, ces aides visuelles sont collées ou annexées à des lunettes et formées d'objectifs, de lentilles et de prismes. De ces caractéristiques une posture ergonomique doit être adaptée. Elle implique une légère flexion permanente de la nuque en relation avec la distance opératoire à adopter pour obtenir une vision nette. Par exemple, les loupes « collées » qui présentent un champ optique plus ou moins horizontal sont défavorables à la musculature de la nuque.

B - Microscope opératoire

1 - Principe du microscope

Important ! L'objectif d'un microscope forme, dans un tube, une image agrandie (image intermédiaire) de l'objet observé et éclairé par une source lumineuse. Cette image est ensuite grossie à l'aide d'un oculaire. Les tubes binoculaires du microscope opératoire constituent la meilleure solution pour l'observation visuelle.

Après le prisme de renvoi à double réflexion, le tube principal comprend une série de prismes qui répartissent le faisceau lumineux en deux parties égales dirigées vers les manchons porte-oculaire. Pour pouvoir adapter le tube à l'écart pupillaire, différent à chaque observateur, l'entraxe des oculaires est réglable de 55 à 75 mm. La distance interoculaire idéale obtenue permet ainsi de parvenir à la fusion complète des deux images.

Pour la vision sous microscope opératoire (et par là-même, la distance opératoire), le mécanisme de l'accommodation n'entre pas en jeu. L'opérateur ne peut percevoir qu'un seul plan (dont l'épaisseur dépend de la profondeur de champ) de l'objet à examiner et, pour observer les autres plans, il doit faire varier la mise au point du système optique.

6684_.indb 456 10/08/12 12:05

2 - Stéréo-microscopie

Il existe deux types de stéréo-microscopies :
- la stéréo-microscopie de Greenough, où deux tubes oculaires sont disposés côte à côte de façon à ce que l'angle focal formé par les deux objectifs se situe sur l'objet ;
- la stéréo-microscopie de type galiléen, qui est fondée sur l'association de la loupe et d'un système optique binoculaire. Les images observées œil par œil sont redressées par un assemblage de prismes entre l'objectif et les oculaires afin de les situer sur un axe de vision parallèle.

Les stéréo-microscopes bénéficient d'une profondeur de champ considérable, adaptée à une distance de travail relativement longue.
En odontologie, seuls les systèmes de type galiléen sont utilisés.

3 - Valeurs de grossissement optique

Le grossissement optique est une grandeur sans dimension qui est le rapport de la taille de l'objet observé au travers de l'aide optique par rapport à celle de l'objet observé à l'œil nu. Ces valeurs de grossissement sont obtenues, d'une part, par un viseur formé d'oculaires de 10 à 12,5 mm de focale qui surmonte des binoculaires, de 150 à 250 mm de focale, et, d'autre part, grâce à la rotation d'un barillet dans une tourelle qui interpose un prisme grossissant entre l'objectif et l'oculaire. Ces valeurs de grossissement (3 ou 5 niveaux en fonction des options) varient de × 4 à × 25 ou × 40. Les appareils les plus perfectionnés présentent dans la tourelle un zoom électrique qui fait varier la puissance non plus par niveau mais en continu en modifiant la hauteur du prisme entre optique et oculaire. D'autres proposent la variation de la focale de l'objectif, ce qui permet de modifier la puissance sans changer la distance opératoire. Ces variations peuvent être commandées au pied ou au niveau des poignées de préhension du microscope.
La puissance optique peut être calculée selon la formule suivante :

Grt Total = Foc bin/foc obj x Grt occ X Grt tourelle

Les focales de l'objectif déterminent la distance de travail séparant le microscope du champ observé. Selon les modèles de microscopes opératoire, des objectifs interchangeables, échelonnés de 25 en 25 mm, peuvent être disponibles pour des distances focales variant de 200 à 400 mm. Leur valeur modifie proportionnellement les grossissements.

Les focales des oculaires déterminent de manière inversement proportionnelle les champs de vision sans modification de la distance de travail.

4 - Éclairage du site opératoire

L'éclairage est de type coaxial à la visée. Cela signifie que la lumière est focalisée entre les oculaires de manière à ce que le praticien puisse voir à l'intérieur du site avec une absence totale d'ombre et d'éblouissement. Cet avantage est rendu possible grâce aux optiques galiléennes qui focalisent à l'infini et envoient des faisceaux parallèles à chaque œil. L'opérateur regarde une image située au-delà du site opératoire (dans l'objectif), ce qui lui évite toute fatigue oculaire. La lumière est concentrée à travers une suite de prismes et traverse l'objectif pour illuminer le site opératoire. Une fois l'objet atteint, le faisceau est réfléchi et retraverse l'objectif, les lentilles de grossissement, les binoculaires puis il sort divisé en deux faisceaux lumineux de façon à produire un effet stéréoscopique et fournir à l'opérateur une grande profondeur de champ.
Les sources lumineuses sont réglementairement disposées à distance du corps du microscope et transmises par fibre optique. Trois sortes d'entre elles sont habituellement proposées :
- une ampoule halogène-quartz où la lumière est fournie par un système de fibres optiques. Dans ce cas, le câblage par fibre optique absorbe la lumière et tend à diminuer l'intensité du faisceau, mais l'intensité lumineuse initiale peut être plus puissante que pour une ampoule halogène-xénon ;
- une ampoule halogène-xénon utilisée avec un système de refroidissement puissant par ventilateur. La lumière procurée par cette énergie au xénon est plus brillante mais élève la température sur le site opératoire ;
- celles qui exploitent la technique LED. Prometteuses, elles pourraient supplanter les sources traditionnelles dans les années futures.

5 - Modifications sur les composants du microscope

Tous les éléments décrits ci-dessus peuvent modifier, en fonction de leurs composants, les propriétés du microscope. Les principaux effets sont récapitulés dans le *tableau 21.2*. Ce tableau permet à l'opérateur de choisir une configuration qui lui convient en fonction des données qui lui semblent prioritaires dans le cadre de son propre exercice.

Tableau 21.2 Effets des modifications sur les composants du microscope.

	Valeur	Grossissement total	Champ de vision	Intensité lumineuse	Distance de travail
Binoculaire (distance focale)	de 150 à 250 mm	⇗	⇘	□	⇔
Objectif (distance focale)	de 200 à 400 mm	⇘	⇗	□	⇗
Tourelle (coefficient de grossissement)	de 0,4 à 2,5 (sauf à coefficient 1 : absence de lentille)	⇗	⇘	⇘	⇔
Oculaire	de 10 à 12,5 mm	⇗	⇘	⇔	⇔

6684_.indb 457 10/08/12 12:05

6 - Accessoires et périphériques *(fig. 21.14)*

Les tubes binoculaires peuvent être proposés en différentes versions ; il peut s'agir d'une version fixe avec une inclinaison à 45° ou de versions plus élaborées proposant des inclinaisons variant de 0 à 180°. Ils sont surmontés d'oculaires qui présentent une bonnette en caoutchouc destinée aux opérateurs qui ne portent pas de lunettes correctrices, et ce afin d'éloigner l'œil de l'oculaire. Les oculaires peuvent être proposés avec un système de visée et permettent le réglage des dioptries œil par œil.

Le diviseur optique, interposé entre les tubes binoculaires et le corps du microscope, agit comme séparateur de lumière. Il permet de partager le faisceau lumineux au cours de son trajet lors de son retour vers les yeux de l'utilisateur Cette dérivation est notamment nécessaire pour apporter la lumière à un périphérique tel qu'un appareil photo, une caméra vidéo ou un tube d'observation auxiliaire.

Les oculaires annexés au tube pour un travail en équipe peuvent être des tubes binoculaires fixes ou articulés, ou un tube monoculaire.

Les poignées facilitent le déplacement du microscope pendant l'intervention. Elles peuvent être en configuration axiale ou de type « guidon ».

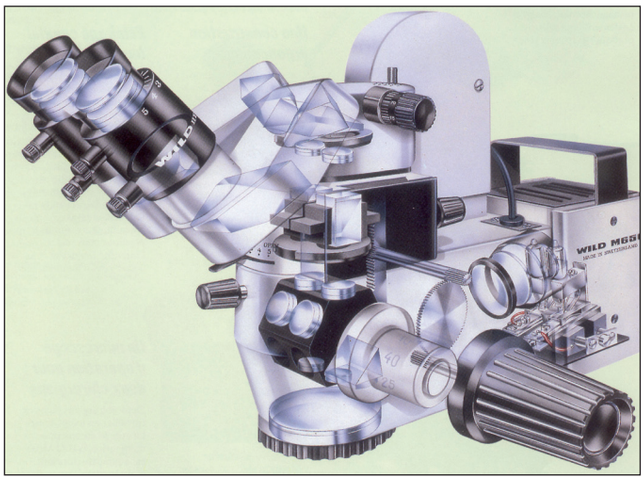


Figure 21.14 Éclaté d'un microscope (Leica® M650).

Des filtres peuvent être ajoutés sur l'objectif ou dans la fibre optique d'illumination pour éviter la polymérisation prématurée des composites photopolymérisables (orange) ou pour faciliter la lecture d'un champ opératoire hémorragique (vert).

Un diaphragme, situé entre le tube binoculaire et le corps du microscope, peut permettre d'augmenter la profondeur de champ jusqu'à × 2 mais réduit l'intensité lumineuse.

7 - Installation

Le microscope opératoire peut être installé de trois façons auprès d'un fauteuil dentaire :

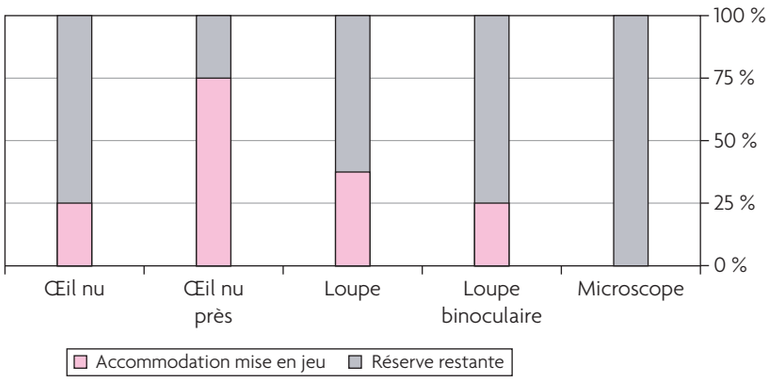
- **statif de plafond.** Considéré comme le choix idéal dans l'exercice du chirurgien-dentiste, il permet une rapide mise à disposition de l'aide visuelle. Généralement, la platine sera fixée, pour un droitier, légèrement décalée en arrière de l'opérateur sur la droite du patient. Le choix ergonomique reste cependant à l'appréciation de chaque opérateur ;
- **statif à fixation murale.** Cette version est choisie lorsque la hauteur de plafond ne permet pas une version plafonnier. La platine de fixation est idéalement située sur le mur, perpendiculairement à l'axe du fauteuil, afin de permettre à l'opérateur une mise en œuvre facilitée « main droite » ou « main gauche ». La circulation autour du fauteuil est alors perturbée lorsque le microscope est déployé ;
- **statif de sol.** Cette version, la plus encombrante de par le volume du socle monté sur roulettes, ne devrait être choisie que si le microscope doit être utilisé dans différentes salles de soins. Il faut cependant respecter la fragilité de ces appareils et connaître les risques de dommages encourus lors de leurs déplacements du fait de l'augmentation du poids apportée par le socle.

8 - Caractéristiques comparées des loupes et des microscopes opératoires

La vision sous loupes binoculaires est assimilable à une vision grossie de près, ce qui implique un relâchement accommodatif mais impose le port de correction optique. La vision obtenue avec le microscope opératoire est assimilable à une vision de loin (à l'infini), ce qui permet de corriger le défaut visuel sphérique dans l'oculaire (myopie, hypermétropie).

Les mises en jeu de l'acuité visuelle et de l'accommodation sont différentes selon l'utilisation des loupes ou du microscope opératoire. La *figure 21.15* démontre leur incidence.

6684_.indb 458 10/08/12 12:05



Exemple d'une tache visuelle située à 40 cm
Hypothèse : Œil emmétropisé, âge 30 ans, souhait de grossir x 3

Œil nu	AV : 12/10 Acc : 2,5 dpt
Œil nu se rapprochant	AV : 20/10 Acc : 7,5 dpt
Loupe simple	AV : 20/10 Acc : 6,6 dpt
Loupe binoculaire	AV : 30/10 Acc : 2,37 dpt
Microscope	AV : 30/10 Acc : 0 dpt

AV : Acuité visuelle ; Acc : Accomodation

Figure 21.15 Mise en jeu de l'acuité visuelle et de l'accommodation pour les différentes aides optiques.

C - Endoscope en chirurgie dentaire : l'orascopie

L'orascopie est une procédure qui utilise un endoscope pour explorer la cavité buccale (Bahcall et Barss, 2003). L'endodontie orascopique est utilisée pour mieux voir lors d'un traitement endodontique conventionnel ou chirurgical.

Un orascope est composé de fibres optiques alors qu'un endoscope est constitué de tiges de verre. L'orascope comme l'endoscope sont utilisés en liaison avec une caméra, une source de lumière et un moniteur.
L'utilisation d'un endoscope en endodontie a été proposée dès 1979 (Detsch *et al.,* 1979), pour aider au diagnostic des fractures dentaires. En 1996, elle a été finalement proposée pour la microchirurgie endodontique. Depuis cette date, les progrès techniques ont permis la mise au point de petits endoscopes avec une meilleure angulation. Les endoscopes actuels utilisés en endodontie chirurgicale ont une tige de 3 cm, un objectif de 2,7 mm de diamètre et une angulation de 70°. Ceux utilisés en endodontie par voie orthograde ont une tige de 4 cm, un objectif de 4 mm de diamètre avec une angulation de 30°.

L'orascope permet un grossissement de plus grande clarté par rapport au microscope et à la loupe. La visualisation d'un champ opératoire à différents angles et distances sans perdre la profondeur de champ et la mise au point est possible. Il permet en outre de visualiser de manière très précise les isthmes et craquelures apicales au cours des chirurgies endodontiques (Von Arx, 2001, 2005).

Le manque de vision intracanalaire en endodontie a été le catalyseur du développement et de l'utilisation des fibres optiques. Auparavant, les fibres optiques d'imagerie souffraient d'une qualité d'image médiocre. Aujourd'hui, les fibres optiques en verre ou en plastique sont petites, légères et très flexibles.

Important ! Il est important de noter que la qualité de l'image est en corrélation directe avec le nombre de fibres et la taille de la lentille que comporte un orascope.

Les fibres optiques utilisées pour la visualisation intracanalaire ont un diamètre de 0,8 mm. L'orascope présente 10 000 fibres optiques d'un diamètre de 3,7 à 5 µm de diamètre, montées parallèlement entre elles. Un anneau de fibres de lumière entoure les fibres visuelles pour l'éclairage de la zone de traitement.
Contrairement au microscope ou aux loupes, l'utilisation de l'orascope au cours du traitement endodontique est limitée. Il est utilisé lorsque le grossissement est nécessaire, en complément des loupes, lors des procédures de préparation endodontiques. L'opérateur tient l'orascope d'une main et peut observer l'image soit dans des lunettes LCD, soit sur un écran *(fig. 21.16 et 21.17).* Une fois la cavité d'accès préparée, l'orascope, de 4 mm de diamètre et de 30° d'angulation, est

Basse def.

Figure 21.16 Le système Orascopic (Jedmed, 2001).

© Blackwell Publishing Ltd, 2003.

6684_.indb 459 10/08/12 12:05

Basse def.

© Blackwell Publishing Ltd, 2003.

Figure 21.17 Endodontiste visualisant l'image sur un moniteur.

utilisé, maintenu à la place du miroir, pour examiner le plancher pulpaire. Il est recommandé de stabiliser l'endoscope en le posant sur la partie coronaire de la dent. Pour l'examen intracanalaire, le canal doit être préparé dans les 15 premiers millimètres coronaires à un diamètre de 90 pour rendre possible l'observation. Ainsi, la sonde de 15 mm introduite dans le canal permet de visualiser l'anatomie du tiers apical à l'aide de l'orascope de 0,8 mm à condition que le canal soit sec.

L'utilisation de l'orascope est identique au cours de la chirurgie endodontique et du traitement endodontique conventionnel : l'aide optique est tenue par l'opérateur.

Si les images observées et les profondeurs de champ sont de bien meilleure qualité que celle obtenues avec un microscope opératoire, notamment grâce à une profondeur de champ à l'infini, l'immobilisation des deux mains de l'opérateur complique quelque peu l'ergonomie, même si l'on peut considérer que l'orascope remplace le miroir.
De plus, l'imagerie se situant sur un plan en 2 dimensions, la perte de la notion de profondeur et donc de relief nécessite un apprentissage particulier. Le coût d'un endoscope dépasse également les capacités financières d'un cabinet dentaire libéral.

D - Caméras

Pour les mêmes raisons d'ergonomie et de visualisation en 2 dimensions que l'endoscope, l'utilisation d'une caméra intra-orale n'est pas une solution adéquate pour l'endodontie, d'autant que la qualité des images sera bien moindre que celle obtenue par un microscope opératoire (Sopro®, Acteon™ ; Stomavision® Trophy™) D'autres systèmes d'aide visuelle de grossissement déclinés à partir de caméras intra-orales sont apparus sur le marché (MagnaVu PSII®, Digital Surgical Scope™...). Ils allient la vidéotransmission à leur intégration sur des bras articulés afin de libérer les mains de l'opérateur. Leur utilisation reste cependant limitée à une visualisation sur un écran vidéo, ce qui détache l'opérateur de l'observation directe du champ du soin.
Ce type d'aide visuelle ne peut, à l'heure actuelle, être privilégié en endodontie. Cependant, pour des raisons didactiques, par exemple pour la visualisation d'une fêlure, la caméra endobuccale reste un bon outil de communication avec le patient.

IV - Applications cliniques

Comme cela arrive pour toutes les approches innovantes censées présenter une avancée considérable dans la pratique clinique, il est essentiel de déterminer si l'utilisation de dispositifs de grossissement dans le traitement endodontique est réellement corrélée à une amélioration des résultats du traitement.
Pour un grand nombre d'indications, l'intérêt des aides visuelles (loupes et microscopes) est indéniable, notamment pour l'observation du site opératoire (Gordon, 2003 ; Clauder, 2007). Cependant, une méta-analyse de la littérature médicale (Del Fabbro *et al.,* 2009 ; Del Fabbro et Tasschieri, 2010) n'a pas permis de mettre en évidence que l'utilisation d'un dispositif de grossissement dans toute procédure endodontique améliorait les résultats cliniques, seules des études *in vitro* ou des d'études à faible niveau de preuve étant à cette époque disponibles. Ces auteurs suggèrent néanmoins que, dans la plupart des procédures endodontiques, l'utilisation d'un dispositif d'aide visuelle peut offrir de nombreux avantages techniques et cliniques.

A - Diagnostic

Le diagnostic des fêlures et fractures lors de l'examen coronaire ou radiculaire est grandement facilité si des aides visuelles de grossissement sont utilisées. Il permet non seulement de confirmer leur existence, mais encore d'en préciser leur étendue et leurs limites anatomiques afin d'en tirer toute décision thérapeutique. De plus, la communication avec le patient ou le chirurgien-dentiste référent n'en sera que plus facile si cette fêlure peut être matérialisée sur un support numérique. L'utilisation d'un colorant (bleu de méthylène en solution à 0,5 %) permet notamment de révéler les fêlures de manière plus explicite.

B - Traitement endodontique orthograde

1 - Traitement endodontique initial

Important ! L'utilisation des aides optiques visuelles s'est rapidement avérée indispensable en endodontie. Elle permet d'apprécier les couleurs et les volumes du plancher des chambres pulpaires, de faciliter la localisation des émergences canalaires et de supprimer sélectivement les contraintes anatomiques coronaires.

6684_.indb 460 10/08/12 12:05

a - Cavité d'accès

Si cette préparation ne requiert pas en première intention l'utilisation d'aides visuelles, dès lors que l'effraction pulpaire est obtenue, un grossissement et une illumination du champ opératoire permettent à l'opérateur de faire l'analyse de la cavité pulpaire. Les observations des calcifications et des pulpolithes, le repérage des saignements, les observations des surplombs ou des éperons de dentine secondaire ou réactionnelle sont autant d'informations qui, analysées, permettent une meilleure réalisation de cette cavité d'accès (Rampado *et al.,* 2004 ; Selden, 1989). À titre d'exemple, il a été largement démontré que le repérage de l'entrée canalaire du canal MV2 lors de la préparation endodontique d'une molaire maxillaire était facilité sous aide optique de grossissement et, plus particulièrement, sous microscope opératoire (Ting et Nga, 1992 ; Stropko, 1999 ; Baldassari-Cruz *et al.,* 2002 ; Schwartz et al., 2002).

La chambre pulpaire présente de nombreux pièges et obstacles qui doivent être surmontés avant toute pénétration instrumentale. Les pulpolithes, le plus souvent libres dans la chambre ou dans les entrées canalaires, ne cèdent parfois pas et ne se désolidarisent des parois dentinaires que par rupture des fibres à l'aide d'une instrumentation ultrasonore.

Cette action est plus aisée si des aides visuelles sont utilisées (Cantatorre *et al.,* 2009). L'entrée du canal radiculaire peut être partiellement oblitérée par un surplomb dentinaire. Seule la précourbure des limes endodontiques saura le contourner. L'appréciation des courbures primaires sous aide optique permet de positionner la lime de cathétérisme en adéquation avec sa pénétration initiale.

b - Lecture des teintes dentinaires

Lors de tout traitement endodontique, à l'indispensable lecture préalable de la « carte routière radiologique » succède la lecture topographique du plancher pulpaire. La lecture de la « carte dentinaire » par l'appréciation de ses couleurs est la seule garante de l'appréciation topographique de l'anatomie dentaire. Une entrée radiculaire est repérée par son ouverture emplie de tissu pulpaire hémorragique ou simplement par son aspect fibreux blanc qui sera digéré par l'action protéolytique de la solution d'hypochlorite de sodium. Les berges des entrées canalaires sont bordées d'une dentine à l'aspect bleu nacré, de couleur uniforme et particulière au plancher dentinaire, que l'on retrouve d'une entrée canalaire à l'autre. Parfois, au milieu de cette zone nacrée, peut être distinguée une ligne de dentine de couleur plus brune. L'œil de l'opérateur est alors guidé vers une deuxième ou troisième entrée canalaire. En périphérie, sur les bords mésiaux et distaux des dents pluriradiculées, une dentine d'un blanc crayeux, caractéristique d'une minéralisation plus spécifique, détermine les frontières mésiales et distales du plancher pulpaire. Les entrées des canaux radiculaires sont situées exclusivement en position interne à ces limites. La dentine tertiaire est de couleur brunâtre plus marquée. L'élimination à la fraise boule acier sur contre-angle ou diamantée sur turbine, ou encore à l'aide d'inserts ultrasonores diamantés de type boule des dentines secondaires ou tertiaires, permet de découvrir l'anatomie primaire du plancher pulpaire ainsi que l'accès à des entrées canalaires ou à des isthmes intercanalaires oblitérés par ces minéralisations.

c - Anatomie radiculaire

Note : **la lecture de l'anatomie radiculaire, tout particulièrement des sillons intercanalaires, est une clé du succès en endodontie.**

Cette lecture des premiers millimètres des entrées canalaires renseigne l'opérateur sur la forme du canal (rond, ovale, aplati dans un sens vestibulo-lingual ou vestibulo-palatin) ainsi que sur l'angulation de la première courbe. La lecture du sillon et son nettoyage sous aide optique permettent d'apprécier si les canaux se rejoignent ou si l'anfractuosité de ce sillon révèle un plancher intercanalaire. Cette appréciation fine ne peut être réalisée que sous aide optique avec illumination.

d - Qualité de préparation canalaire

Le respect des objectifs du traitement initial (mise en forme et désinfection canalaire) génère la formation de boue dentinaire qui est plaquée sur les parois lors des passages instrumentaux. Si son élimination peut être réalisée par une irrigation et l'utilisation d'une instrumentation ultrasonore, le contrôle de ce nettoyage sera plus efficace sous aide visuelle. Les débris pulpo-dentinaires appliqués dans les *recessus* canalaires pourront être repérés et éliminés par l'utilisation des Micro-Opener® (Dentsply Maillefer) ou Micro-Debrider® (Dentsply Maillefer) dont la pointe sera orientée en direction des parois à nettoyer. Enfin, l'observation du nettoyage des canaux radiculaires et des isthmes intercanalaires permet d'obtenir des préparations endodontiques de meilleure qualité (Khayat, 1998).

2 - Retraitement endodontique

De meilleurs résultats sont obtenus pour les retraitements endodontiques réalisés sous aide optique. La lecture des causes des échecs endodontiques ainsi que l'aide à la visualisation de l'efficacité instrumentale permettent à l'opérateur, d'une part, de comprendre ces échecs et, d'autre part, d'agir directement sur leurs causes (Zaugg *et al.,* 2004). Les réaménagements coronaires, les rectifications radiculaires et les déposes de fragments d'instruments sont réalisés avec plus de succès si la zone de travail est grossie et éclairée (Suter *et al.,* 2005). L'élimination de gutta-percha lors des retraitements endodontiques est également plus efficace sous microscope opératoire (Baldassari et Wilcox, 1999).

a - Analyse et réaménagement

La majeure partie des causes d'échecs endodontiques étant due à une mauvaise préparation de la cavité d'accès, la lecture des surplombs lors des retraitements endodontiques permet, dès la rectification des cavités d'accès, de résoudre de nombreuses situations endodontiques défavorables.

6684_.indb 461 10/08/12 12:05

b - Préparation coronaire

La dépose des éléments de reconstruction coronaires, tels que faux moignons scellés ou foulés, réalisée sous aide visuelle permet de limiter le délabrement des surfaces dentaires résiduelles. L'action de la fraise qui détoure le métal scellé ou qui élimine la reconstitution foulée sera contrôlée afin qu'elle ne travaille qu'aux dépens du matériau à éliminer. Lors de la dépose d'un faux moignon, la pointe de la fraise transmétal sera positionnée sur le ciment de scellement et le détourage se limitera à l'élimination du métal. Lors de l'élimination de tenons vissés type Screw-Post®, la différenciation d'avec le matériau qui le retient aux parois dentinaires permettra à l'opérateur de le dégager plus facilement sans risque de le fracturer à l'entrée canalaire.

c - Réaménagement du plancher pulpaire.

Les aides visuelles permettent d'améliorer le nettoyage du plancher pulpaire, afin de le débarrasser des débris de pâte, de ciment et de gutta-percha, et la relocalisation des entrées canalaires. Le nettoyage du plancher pulpaire à l'aide de fraises boules acier ou d'inserts ultrasonores « boule diamantée » permet, sous aide visuelle, de retrouver le plancher originel de la dent à retraiter sans risquer de créer une perforation. Cette opération se fera sans irrigation et de préférence sous air pulsé. Les rinçages successifs des débris éliminés à l'aide de solutions d'hypochlorite de sodium révéleront, tout au long de cette préparation, les teintes dentinaires initiales par élimination des pigments résiduels de pâte d'obturation.

d - Accès canalaire

Dès que le plancher canalaire est débarrassé des résidus pulpaires, voire des pulpolithes, ou bien des résidus du traitement endodontique précédent, les entrées canalaires peuvent être facilement localisées par la lecture des couleurs dentinaires lors des traitements initiaux ou bien par le repérage des matériaux d'obturation lors des retraitements endodontiques.

e - Désinsertion de fragments d'instruments fracturés

Lors des tentatives de retrait des débris instrumentaux, l'utilisation d'aide visuelle de fort grossissement et plus particulièrement du microscope opératoire est indispensable. La dépose instrumentale de ces débris, surtout retrouvés dans des canaux radiculaires à courbure prononcée ou lumière réduite, ne peut être réalisée, en toute sécurité, qu'avec l'application d'une instrumentation spécifique, ultrasonore dans la majorité des cas, et selon des procédures qui diffèrent en fonction du type instrumental à éliminer et de sa position intracanalaire *(voir chapitre 13).*

3 - Autres applications

La prise en charge des perforations, le traitement endodontique des dents à apex ouvert ou encore la chirurgie endodontique sont autant indications de l'utilisation du microscope opératoire. Les procédures cliniques sont détaillées dans les chapitres correspondants de cet ouvrage

4 - Enregistrement des données (aspect médico-légal et communication)

Important ! Le microscope opératoire peut être un atout exceptionnel pour la pratique quotidienne quand il s'agit de documenter un cas clinique. L'adjonction d'un diviseur optique et d'un adaptateur permet la connection d'un appareil photographique numérique sur un côté du microscope et/ou d'une caméra vidéo de l'autre côté.

L'association de ces accessoires permet de garder une trace des procédures. La documentation sera utilisée à des fins médico-légales, pour les assurances, la communication avec le patient, mais également avec le personnel ou les chirurgiens-dentistes référents ou encore lors de conférences (Tan, 2007). Les appareils de photographie numériques offrent un nombre de mégapixels, une qualité de la couleur et une netteté des images ainsi qu'un nombre d'options de traitement de l'image suffisants pour fournir facilement de bonnes images. Le coût et le poids des caméras ayant sensiblement diminué au cours des dernières années, de nombreux utilisateurs de microscope opératoire ont opté pour elles au lieu de l'appareil photo, privilégiant la retransmission directe sur un écran grâce à l'incorporation de plus en plus fréquente d'une caméra dans le corps du microscope en remplacement d'un diviseur optique. Le microscope, utilisé comme une caméra intra-orale, permet une co-observation, mais il permet également aux membres du personnel d'observer le traitement et de s'impliquer lors des procédures opératoires. Les patients sont informés sur leur état buccal, et cela est très utile au cours de la consultation comme pour les examens complémentaires ou expertises. Le stockage de ces images sur des cartes mémoire, sur des disques durs ou sur des DVD a transformé l'archivage des cas cliniques.

V - Ergonomie et aides visuelles

A - Santé au travail

Les chirurgiens-dentistes souffrent du dos et du cou et ces douleurs sont attribuées, dans de nombreux cas, à leur position de travail (Rucker et Sunell, 2002). L'utilisation des aides visuelles contribue à diminuer ce risque de douleurs neuromusculaires. Cependant, s'il semble que, bien choisis et ajustés, les systèmes de grossissement peuvent effectivement diminuer les pathologies neuro-musculaires, ils peuvent également, en cas de mauvaise utilisation, augmenter les risques lors des situations suivantes : torsion dorsale, angulation des épaules, coude levé en cours de traitement, lumière du scialytique éloignée de la ligne de visibilité du praticien, champ opératoire rapproché du visage, augmentation des positions entre 7 h et 8 h 30 ou entre 3 h 30 et 5 h 00, utilisation accrue des instruments ultrasonores. Il est alors important que le praticien détermine son environnement et sa position ergonomique idéale, avant de faire son choix vers un système

6684_.indb 462 10/08/12 12:05

d'aide visuelle. Il y a très souvent une adéquation entre position de travail idéal et acuité visuelle, le praticien non équipé d'aide visuelle ayant tendance à se rapprocher de son champ de travail. L'aide visuelle, en éloignant l'opérateur de l'objet, permet de redresser la posture et d'optimiser la position de travail (Sunell et Rucker, 2003 et 2004) Le positionnement de la lumière est aussi un facteur d'ergonomie important et de nombreux opérateurs oublient que, lors de l'utilisation de loupes, le champ lumineux ne doit pas s'écarter de plus de 15° de leur champ optique.

Important ! **C'est pourquoi l'adjonction d'une source lumineuse sur les aides optiques est souvent primordiale, non seulement pour augmenter l'éclairage mais également pour obtenir une confluence des champs optique et lumineux.**

Quand un clinicien choisit un système de grossissement (loupe ou microscope opératoire), il est important non seulement de sélectionner le grossissement désiré mais également de déterminer que la distance de travail, la profondeur de champ et l'angle de déclinaison optique du système choisi correspondent aux besoins de l'appareil locomoteur du clinicien. Plus le grossissement augmente et plus le champ de vision diminue ainsi que la profondeur de champ et la lumière disponible. Le choix des endodontistes se portera sur des grossissements élevés, permettant d'améliorer la précision des procédures opératoires. L'évaluation de l'angle de déclinaison optimale est enfin prépondérante dans la détermination de la posture de travail (Rucker *et al.*, 2009). Elle se calcule individuellement et, pour les loupes, par la sensation de liberté de posture entre les positions extrêmes de réglage et l'abaissement de la nuque lors du travail en bouche. Les adaptations aux systèmes de grossissement sont difficiles pour certains et imposent des mesures transitoires. Le poids des lunettes peut être surmonté par l'utilisation contraignante de supports, tandis que les sources lumineuses intégrées imposent des fibres optiques qui devront être maîtrisées lors des mouvements de la tête. Cependant, l'avènement des LED semble à l'avenir résoudre ces inconvénients.
L'habitude du grossissement implique deux notions : la première est l'intégration du grossissement à proprement parler qui, pour certains, passe par des sensations de vertiges et de nausées lors des premières utilisations. La seconde concerne l'intégration du passage de l'instrument d'un champ non amplifié à un champ amplifié. Les sources lumineuses adjointes, sur le microscope opératoire, comme sur les loupes, facilitent cette transition par la vision de l'instrument dans le halo de lumière.

B - Ergonomie et outils d'aide visuelle

1 - Loupes

Les loupes ont pour caractéristique principale de grossir l'image optique observée de près. Elles mettent donc en jeu la vision de près, ce qui engendre fatigue ophtalmique, même si elles diminuent l'accommodation visuelle. La mise au point se fera par la focale du dispositif qui implique la convergence des champs visuels liée à l'accommodation et par l'inclinaison de la tête au niveau des vertèbres cervicales.
Les loupes seront adaptées à la vision de prêt de chaque individu. Cette vision varie au cours de l'âge et l'opérateur devra régulièrement changer de loupes afin de les adapter à ses modifications de vision de près au cours du temps (presbytie), sauf s'il porte des lunettes adaptées à sa vue sous le dispositif de loupe.
Il faut s'assurer que la lumière adjointe aux loupes soit confocale à la vision, faute de quoi cela engendrerait des zones d'ombre sur l'objet observé.

2 - Microscope

Le microscope opératoire permet de grossir une image objet observée de loin. La fatigue ophtalmique ne se fera pas sentir pendant toute la durée de l'observation. L'acuité visuelle est, bien entendu, augmentée, mais l'accommodation est nulle car les oculaires permettent une vision parallèle sans convergence. Elle est comparable à celle obtenue avec une paire de jumelles.
Les modifications de dioptrie liée à l'âge n'entrent pas en jeu lors de l'utilisation du microscope. Soit l'opérateur porte ses lunettes, soit les dioptries sont réglées sur les viseurs des oculaires.
Les diamètres des objectifs du microscope sont suffisamment grands pour que la profondeur de champ soit importante sur de faibles grossissements, ce qui permet d'obtenir une image nette sur quelques millimètres sans avoir à modifier la distance opératoire. Seuls les forts grossissements (supérieurs à × 10) diminuent cette profondeur de champ. Les microscopes munis de variation de focale permettent de pallier cet inconvénient en modifiant la mise au point sans changer de position opératoire.
La lumière est axiale au champ de vision et, ainsi, aucune ombre portée n'est engendrée.

3 - Incidences comparées des systèmes grossissants sur la posture

Les loupes binoculaires redressent la posture de l'opérateur. Elles sont adaptables à sa morphologie et imposent des distances de travail de 30 à 40 cm. L'opérateur aura une vision du champ opératoire directe avec réglages de la mise au point par inclinaison de la nuque.
Les microscopes opératoires imposent une posture droite de l'opérateur qui regarde à l'infini, nuque redressée. Il adapte la position de son microscope en fonction de sa morphologie. Sa distance de travail est également imposée par le choix de la focale de son objectif. Il peut cependant opter pour des microscopes dont la focale de l'objectif est variable et la modifier en fonction de son type d'activité *(fig. 21.18 et 21.19).*
Quel que soit le système optique, le choix de la focale adaptée aux données individuelles de l'opérateur est primordial pour une ergonomie optimale.

6684_.indb 463 10/08/12 12:05

Figure 21.18 Positions opératoires comparées sous loupes et microscope opératoire.

Figure 21.19 Position idéale sous microscope opératoire.

C - Ergonomie et mode d'emploi des aides visuelles

1 - Mise en œuvre des aides visuelles

L'apprentissage de la microchirurgie doit développer une coordination spécifique des mains, des yeux et de l'esprit. La microchirurgie, différente de la macrochirurgie, est régie par un champ visuel limité dans lequel seule l'extrémité travaillante des instruments est visible.

Important ! **Lors de la prise en main d'un appareil d'aide visuelle, loupe ou microscope opératoire, différents réglages sont indispensables avant de pouvoir réaliser un acte opératoire (Friedman et Landesman, 1998).**

En premier lieu, la distance interoculaire doit être définie. Cette distance, qui sépare les centres oculaires, se règle par un écartement manuel ou à l'aide d'une molette. La vision binoculaire doit être telle que la confusion des champs optiques droit et gauche permet de ne voir qu'un champ unique. En second lieu, la dioptrie œil par œil doit être réglée. Elle peut être déterminée par l'ophtalmologiste ou calculée de telle sorte que, pour une longueur de travail donnée, chaque œil, indépendamment, voie nettement l'objet observé dans le viseur.

Depuis l'introduction des aides visuelles en odontologie, chaque praticien a dû étudier et définir ses propres positions opératoires (Kinomoto *et al.,* 2004).

La distance de travail est déterminée par l'opérateur afin que celui-ci se trouve en position de confort. Le patient doit être confortablement installé en position de repos de telle sorte que les muscles de sa tête et de son cou soient relâchés. L'idéal serait de pouvoir obtenir un plan d'occlusion parallèle au sol pour les actes à la mandibule et perpendiculaire pour les actes au maxillaire. Cependant, toute position inconfortable entraîne à moyen terme une tentative de décontraction de la part du patient qui déstabilise la position opératoire initiale. Un oreiller en gel peut encore être avantageusement situé sous le cou du patient afin d'augmenter son confort.

2 - Réglages spécifiques du microscope opératoire.

Avant l'intervention, il est important de privilégier le maintien du microscope en une position opératoire unique. Cela permet un accès visuel le plus efficace possible. La position finale du microscope peut être fixée différemment selon le type du microscope. Pour la plupart des microscopes, les réglages sont obtenus par des vis qui ralentissent les mouvements de chacun des axes pris un à un. Certains microscopes sont équipés d'un système qui permet un recentrage manuel du centre de gravité du microscope. Dès lors que l'équilibre est obtenu, le système est verrouillé par une seule vis de serrage. D'autres sont munis d'un système électromagnétique d'immobilisation qui peut être libéré par simple pression sur un bouton, le temps de définir une nouvelle position opératoire. L'équilibrage fin du microscope est d'autant plus indispensable qu'on lui ajoute des éléments comme un appareil photo ou un oculaire annexe. En effet, le poids de ceux-ci nécessite une répartition des charges par un réglage particulier des axes de rotation des bras afin de ne pas les fausser et, par là même, rendre plus difficile les mouvements du microscope dans les trois dimensions de l'espace.

D - Ergonomie et matériel spécifique aux aides visuelles

Le travail sous aide visuelle impose non seulement des positions opératoires particulières mais également l'utilisation d'instruments spécifiques réservés à chaque type d'utilisation des aides de grossissement.

6684_.indb 464 10/08/12 12:05

Les instruments dont nous disposons en endodontie sont, pour la plupart, détournés d'instruments déjà mis au point pour d'autres domaines. L'utilisation d'une instrumentation en endodontie sous microscope doit respecter deux impératifs : d'une part une dimension de la partie travaillante de l'instrument en adéquation avec les valeurs de grossissement, d'autre part une utilisation telle qu'elle ne doit pas interférer avec le champ de vision. Il faut donc disposer de supports dont la taille est la plus réduite possible et, de préférence, qui permettent un dégagement à 60° sur le champ.

1 - Miroir

Les odontologistes travaillent confortablement en vision indirecte. Néanmoins, la vision directe est préférable chaque fois que possible, même si elle se limite à 20 ou 30 % de leur exercice. Le miroir ne doit pas déformer l'image reçue et grossie. Il doit présenter la surface réfléchissante devant le verre par une couche de rhodium réalisée par évaporation sous vide (miroir « front de surface »). Sa taille peut être standard (n° 5) ou réduite. Pour les chirurgies endodontiques, des micromiroirs de toutes tailles et formes sont proposés.

2 - Fraises

D'une manière générale, seule une instrumentation à long col peut être utilisée. L'utilisation des fraises sous spray d'eau impose un travail efficace à 4 mains, sauf si le spray d'eau est coupé, lors de l'utilisation de fraises en acier ou diamantées montées sur contre-angle. Dans ce cas, un spray d'air est indispensable. Parmi les fraises utiles, la fraise LN® (Dentsply Maillefer) avec son extrémité travaillante extrêmement fine et, surtout, le diamètre réduit de son fût, est d'une grande efficacité. De même le kit de fraises Endoguide® de SS White® répond parfaitement aux impératifs du travail sous aide optique. L'utilisation de fraises diamantées sur turbine présente également un intérêt dans les petits diamètres en laissant moins de traces dentinaires à l'origine de confusion avec la lecture des appositions concentriques de dentine secondaire intracanalaire.

3 - Sondes

Les traditionnelles sondes DG 16 ou 17 présentant bien souvent une pointe épaisse, des microsondes issues du matériel ophtalmologique ou encore les Micro-Opener®, limes ou racleurs, de diamètre 10/100, 15/100 ou 20/100, montés sur un manche sont préférables d'utilisation.

4 - Ultrasons

L'instrumentation ultrasonore est probablement la plus adaptée à ce jour pour le travail sous aide visuelle (Plotino *et al.,* 2007). Elle répond aux critères de dégagement du champ opératoire comme de réduction de la taille de la partie travaillante. Dans les parties hautes du canal, des limes striées ou diamantées sont préférées aux limes lisses. L'instrumentation diamantée, de plus gros diamètre, sera cependant réservée au travail des isthmes ou du nettoyage canalaire plutôt que du cathétérisme. Enfin, certaines limes ultrasonores précoudées s'avèrent d'une grande utilité pour l'élimination d'instruments fracturés. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les ultrasons sont utilisés par petites touches à puissance modérée et, surtout, sous aide optique à fort grossissement.

Important ! L'utilisation des ultrasons sous aide optique augmente la précision de l'opérateur et réduit les risques de perforation iatrogène ou la création de butées (Clark, 2004).

Les inserts ultrasonores existent en différents longueurs, diamètres, angulations et formes, avec ou sans irrigation (Endosuccess® Acteon®, StartX® Dentsply®, Système EndoPlus EMS®). Pour Ruddle (1997), l'utilisation de l'irrigation associée aux ultrasons lors des procédures non chirurgicales était contre-indiquée pour les raisons suivantes : diminution des performances ultrasonores, fragilisation des pointes instrumentales des inserts, réduction de visibilité par création d'aérosol de poussière ou de boues augmentant les risques de perforation. Cependant, l'absence d'irrigant associé aux ultrasons augmente les risques d'oblitération des entrées canalaires par les poussières dentinaires et de brûlure de la dentine. L'alternance d'utilisation des inserts avec et sans spray est indispensable lors de l'utilisation des ultrasons. Dorénavant, ces derniers peuvent être couplés à une source d'air pulsée. Cependant, en l'absence de ces générateurs relativement récents (PMax XS®, Satelec) une aide opératoire qui visualise le travail de l'opérateur par la retransmission vidéo peut nettoyer le champ opératoire avec des Micro-Tips (Ultradent) montés sur la seringue à air ou une micro-seringue à air (Stropko™ Irrigator, KaVo FINEAir) au fur et à mesure du travail du praticien. Dans ce cas, une seringue à débit d'air contrôlé est indispensable.

5 - Pinces et précelles

Seule la préhension des instruments endodontiques par une instrumentation spécifique éloignée du champ visuel permet de ne pas occulter la vision. Les instruments canalaires à utilisation manuelle et, en premier lieu, les limes endodontiques manuelles en 21 mm de longueur sont difficiles à manier sous microscope car le champ visuel est trop souvent caché par les doigts de l'opérateur. L'utilisation de pinces ou de précelles est possible. Cependant, la mise au point de porte-limes prend de l'ampleur. Les Micro-Openers® (Dentsply Maillefer), limes montées sur manche, bien que fragiles de la pointe, sont très efficaces. Les Micro-Debrider® (Dentsply Maillefer), travaillant en traction, ne peuvent être préconisés que pour extirper une partie du paquet vasculo-nerveux par un appui pariétal ou bien pour éliminer manuellement des résidus d'anciennes obturations canalaires.

6 - Aspiration

Des micro-canules montées sur des systèmes d'aspiration chirurgicale permettent également de maîtriser les fluides sous aide optique, aussi bien lors des traitements orthogrades que lors des chirurgies endodontiques apicales (Capillary Tips, Surgi-Tips, Ultradent™).

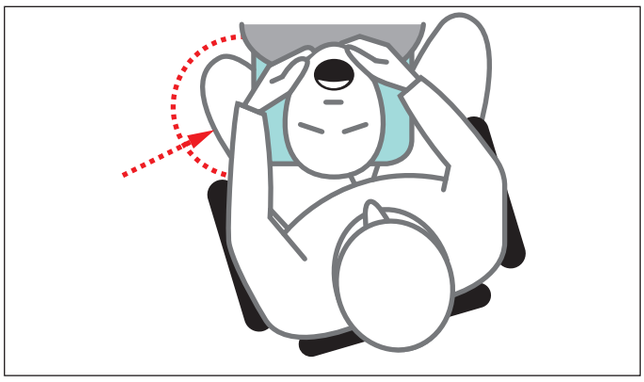
6684_.indb 465 10/08/12 12:05

E - Positions de travail sous microscope opératoire

Les techniques de travail imposent généralement une visualisation en vision indirecte. Le miroir permet à tout moment de régler la focale et de modifier l'angle de vision sans déplacer le microscope opératoire ni le patient. Il peut être positionné à distance des dents observées, voire même en dehors de la cavité buccale.

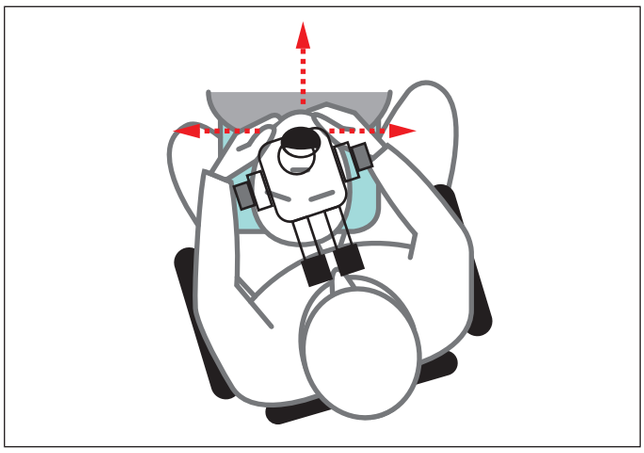
Selon Perrin *et al.* (2000), la mise en place du patient sous microscope opératoire doit se dérouler de la manière suivante :

- le patient est installé dans une position horizontale fixée à l'avance, le dossier du fauteuil se trouvant juste au-dessus des genoux du praticien *(fig. 21.20) ;*
- le patient est informé qu'il devra le cas échéant légèrement incliner la tête en fonction des besoins du traitement ;
- le microscope opératoire est amené en position telle que le praticien puisse adopter une position confortable, dos droit *(fig. 21.21) ;*
- la hauteur du fauteuil et la position de la tête sont modifiées de façon à ce que la zone souhaitée se définisse avec précision *(fig. 21.22) ;*
- l'unit est amené dans une position accessible à l'aveugle, sans détournement du regard du praticien *(fig. 21.23) ;*



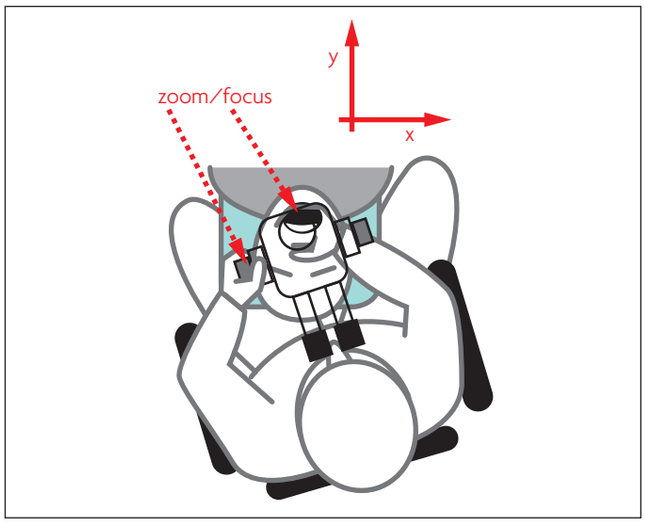
© Perrin, 2000.

Figure 21.20 Mise en position du patient.



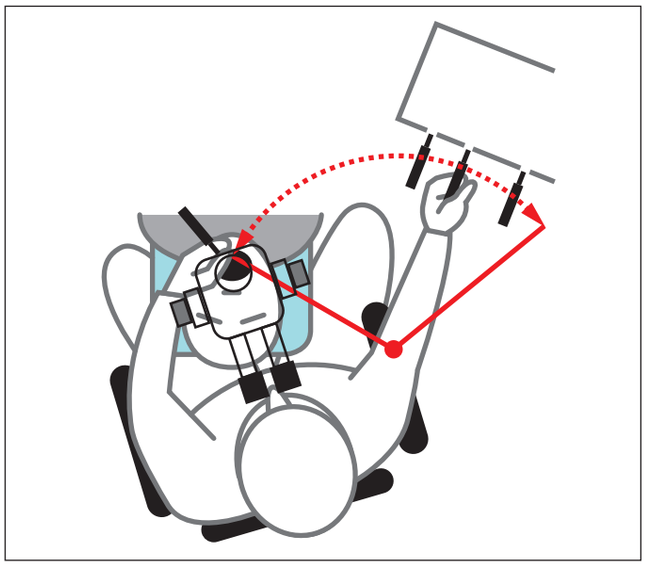
© Perrin, 2000.

Figure 21.21 Mise en position du praticien.



© Perrin, 2000.

Figure 21.22 Mise en position du fauteuil.



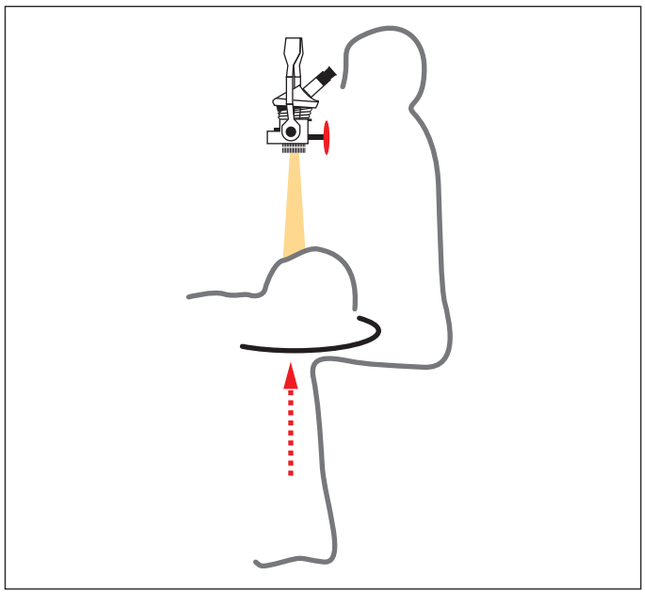
© Perrin, 2000.

Figure 21.23 Mise en position de l'unit.

- lorsque le praticien est équipé d'accoudoirs réglables individuellement, il peut facilement déposer l'instrument « à l'aveugle » sur l'unit en exécutant une rotation de l'avant-bras, le coude restant fermement en appui sur l'accoudoir ;
- la mise au point au cours du traitement sera réalisée par de subtils changements de la distance du miroir ; si nécessaire, une petite pression par le genou relève légèrement le dossier du fauteuil *(fig. 21.24).*

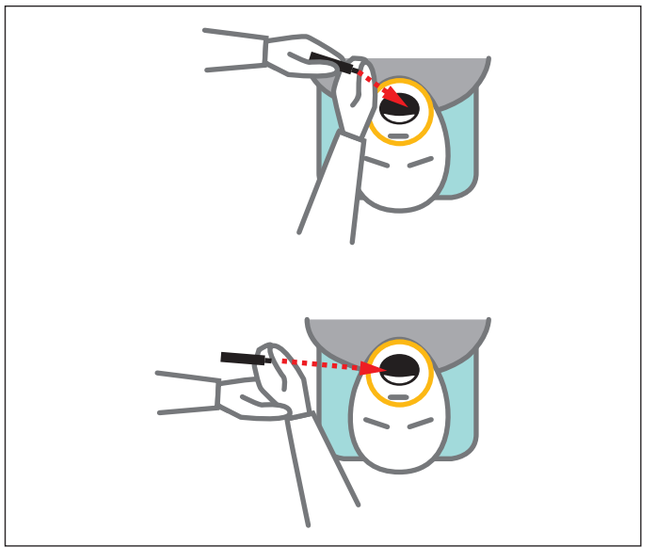
L'assistante opératoire peut aider le praticien à diriger de façon précise les instruments situés en dehors de son champ visuel. Elle amène la main du praticien ou l'instrument qu'elle lui présente dans la zone souhaitée sous le faisceau de lumière *(fig. 21.25).*

6684_.indb 466 10/08/12 12:05



© Perrin, 2000.

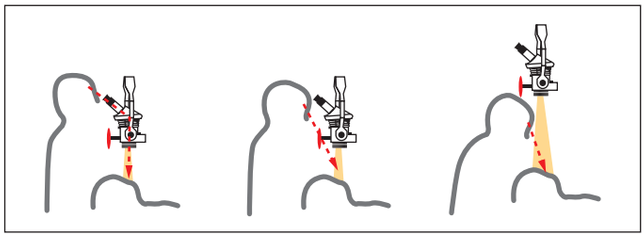
Figure 21.24 Ajustement de la mise au point au genou.



© Perrin, 2000.

Figure 21.25 Instrumentation et faisceau de lumière.

La source de lumière intégrée dans **le microscope opératoire** doit être puissante et, de ce fait, elle risque d'éblouir. Le cône de lumière devra donc être réglé de façon à rester centré sur le champ opératoire. Cette source lumineuse peut aussi servir de scialytique lors d'examens ne nécessitant pas l'utilisation du microscope opératoire. L'appareil est alors relevé sur son axe vertical de telle sorte qu'il puisse être facilement récupéré pour une utilisation rapide *(fig. 21.26)*.



© Perrin, 2000.

Figure 21.26 Microscope faisant fonction de scialytique.

F - Microchirurgie endodontique et aides opératoires

Une microchirurgie endodontique apicale idéale devrait être réalisée avec deux assistantes. La première est principalement responsable de l'aspiration et de l'élimination de la buée et des microgouttelettes sur le miroir. Elle est assise et peut assister en vision microscopique binoculaire par l'intermédiaire d'oculaires annexés ou sur un écran de rappel vidéo dans le cas d'une utilisation de la caméra. La seconde assistante tient le rôle de l'instrumentiste. Elle prépare les produits et passe les instruments. Elle est située près du chirurgien qui tend la main afin de se faire passer l'instrumentation nécessaire. Elle suit l'intervention uniquement en vision directe ou sur la retransmission sur un écran vidéo.

G - Conclusion : microscope optique ou loupes binoculaires ?

Les loupes binoculaires améliorent la précision visuelle dans tous les domaines de la profession. Même si des phases d'apprentissage sont nécessaires, elles ne modifient pas les techniques de travail.
Mais les modifications de l'angle de vision et de la mise au point se font le plus souvent par adaptation de la position de l'opérateur et, surtout, par l'inclinaison de la tête.

Enfin, lorsque la source lumineuse devient indispensable, cet équipement supplémentaire se fait au prix d'un encombrement non négligeable.
Le microscope nécessite une phase d'apprentissage plus longue et rigoureuse que les loupes. Elle concerne l'ergonomie, mais également la maîtrise d'une nouvelle visualisation des tissus observés et celle de la mise en œuvre d'une instrumentation spécifique.
À de faibles grossissements, le microscope correspond à des lunettes-loupes à lumière intégrée. Pour de plus grandes valeurs de grossissement en endodontie, l'utilisation du microscope opératoire devient incontournable.

6684_.indb 467 10/08/12 12:05

VI - Conclusion

Lorsque les aides optiques sont entrées dans l'arsenal technique des spécialités chirurgicales (neurologie, chirurgie orthopédique, ophtalmologie...) il y a quelques dizaines d'années, nombre des chirurgiens ont dû s'adapter à de nouvelles lectures des sites opératoires et à de nouveaux protocoles chirurgicaux. Cependant, ces révolutions leur ont permis de réaliser des interventions de plus en plus efficaces au profit de la santé des patients. Gageons que leur contribution permettra d'adapter encore le matériel et les techniques à la chirurgie dentaire, que ce soit en endodontie ou dans d'autres disciplines odontologiques, et ce pour le bien du patient comme pour celui du praticien.

VII - Remerciements

Les auteurs remercient le Dr Philippe Perrin pour son aide à la préparation de ce manuscrit.

Bibliographie

Apotheker H. The application of the dental microscope : preliminary report. J Microsurg 1981 ; 3 : 103-106.

Bahcall JK, Barss J. Orascopic visualization technique for conventional and surgical endodontics. Int Endod J 2003 ; 36 : 441-447.

Baldassari-Cruz LA, Lilly JP, Riviera EM. The influence of dental operating microscope in locating the mesiolingual dental orifice. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2002 ; 93 : 190-194.

Baldassari LA, Wilcox LR. Effectiveness of gutta percha removal with and without the microscope. J Endod 1999 ; 25 : 627-628.

Cantatorre G, Berutti E, Castellucci A. Missed anatomy : frequency and clinical impact. Endod Topics 2009 ; 15 : 3-31.

Carr GB. Microscopes in endodontics. J Calif Dent Assoc 1992 ; 20 : 55-61.

Carr GB. Common errors in periradicular surgery. Endod Report 1993 ; 8 : 12-18.

Clark D. The operating microscope and ultrasonics ; a perfect mariage. Dent Today 2004 ; 23 : 74-6, 78-81.

Clauder T. The dental microscope : an indispensable tool in endodontic pratice. In : The microscope in dentistry. Oberkochen : Carl Zeiss Surgical GmbH, 2007 : 16-19.

Coelho De Carvalho Mc, Zuolo ML. Orifice locating with a microscope. J Endod 2000 ; 26 : 532-534.

Del Fabbro M, Tasschieri S, Lodi G, Banfi G, Weinstein RL. Magnification devices for endodontics therapy. Cochrane Database Syst Rev 2009 ; 3 : CD005969.

Del Fabro M, Taschieri S. Endodontic therapy using magnification devices : a systematic rewiew. Dent Today 2010 ; 38 : 269-275.

Detsch SG, Cunningham WT, Langloss JM. Endoscopy as an aid to endodontic diagnosis. J Endod 1979 ; 5 : 60-2.

Friedman MJ, Landesman HM. Microscope assisted precision dentistry. A challenge for a new knowledge. J Calif Dent Assoc 1998 ; 26 : 900-905.

Gordon J. Magnification in dentistry Useful tool or another gimmick. J Am Dent Assoc 2003 ; 134 : 1647-1650.

Harms H, Mackensen G. Ocular surgery under the microscope. Chicago : Yearbook Medical Publishers, 1967.

Khayat BG. The use of magnification in endodontic therapy : the operating microscope. Pract Periodontics Aesthet Dent 1998 ; 10 : 103-144.

Kim S. Principes of endodontics microsurgery. Dent Clin North Am 1997 ; 41 : 481-449.

Kinomoto Y, Takeshige F, Hasashi M, Ebisu S. Optimal positioning for a dental operating microscope during non surgical endodontics. J Endod 2004 ; 30 : 860-862.

Perrin P, Jacky D, Hotz P. Le microscope opératoira au cabinet généraliste. Rev Mens Suisse Odontol 2000 ; 110 : 9.

Plotino G, Pameijer CH, Grande NM, Somma F. Ultrasonics in endodontics : a review of the literature. J Endos 2007 ; 33 : 81-95.

Rampado ME, Tjaderhame L, Friedman S. Hamstra S. The benefit of the operative microscope for access cavity preparation by undergraduate students. J. Endod 2004 ; 30 : 863-867.

Rubinstein RA. The anatomy of the surgical microscope and operating positions. Dent Clin North Am 1997 ; 41 : 391-413.

Rubinstein RA, Kim S. Short-term observation of the results of endodontic surgery with the use of a surgical operation microscope and Super-EBA as root-end filling material. J Endod 1999 ; 25 : 43-48.

Ruddle CJ. Endodontic perforation repair using the surgical operating microscope. Dent Today 1994 ; 48-53.

6684_.indb 468 10/08/12 12:05

Rucker LM, Sunell S. Ergonomic risk factors associated with clinical dentistry. J Calif Dent Assoc 2002 ; 30 : 139-148.

Rucker LM, Beattie C, McGregor C, Sunell S, Ito Y. Declinaison angle and its role in selecting surgical telescopes. J Am Dent Assoc 2009 ; 130 : 1096-1100.

Ruddle CJ. Nonsurgical endodontic retreatment. J Calif Dent Assoc 1997 ; 25 : 769-799.

Schwartze T, Baethge C, Stecher T, Geurtsen W. Identification of second canals in the mesiobuccal root of maxillary first and second molars using magnifying loupes or an operating microscope. Australian Endod 2002 ; 28 : 57-60.

Selden HS. The role of the dental operating microscopes in in improved nonsurgical treatment of « calcified » canals. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1989 ; 68 : 93-98.

Sjögren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. J Endod 1990 ; 16 : 498-504.

Slaton CC, Loushine RJ, Weller RN, Parker MH, Kimbrough WF, Pashley DH. Identification of resected root-end dentinal cracks : a comparative study of visual magnification. J Endod 2003 ; 29 : 519-522.

Stropko JJ. Canal morphology of maxillary molars : clinical observations of canal configurations. J Endod 1999 ; 25 : 446-450.

Sunell S, Rucker LM. Surgical magnification in dental hygiene practice. Int J Dent Hygiene 2004 ; 2 : 26-35.

Sunell S, Rucker LM. Ergonomic risk factors associated with clinical dental hygiene practice. Probe 2003 ; 37 : 159-66.

Suter B, Lussi A, Sequeira P. Probability of removing fractured instruments from root canals. Int Endod J 2005 ; 38 ; 112-123.

Tan P. How the dental microscope offers powerfull perspectives for digital visualisation. In : The microscope in dentistry. Oberkochen : Carl Zeiss Surgical GmbH, 2007 : 26-28.

Ting PC, Nga L. Clinical detection of the mesiobuccal canal of maxilary first molar. Int Endod J 1992 ; 25 : 304-306.

Von Arx T. L'endoscopie en chirurgie endodontique. Rev Mens S Odont 2001 ; 111 : 1308-1310.

Von Arx T. Frequency and type of canal ithmuses in first molars detected by endoscopic inspection during periradicular surgery. Int Endod J 2005 ; 38 : 160-168.

Von Arx T, Hunenbart S, Buser D. Endoscope- and videoassisted endodontic surgery. Quintessence Int 2002 ; 33 : 255-259.

Von Arx T, Montagne D, Zwinggi C, Lussi A. Diagnostic accuracy of endoscopy in periradicular surgery. A comparison with scanning electron microscopy. Int Endod J 2003 ; 36 : 691-699.

Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1969 ; 28 : 419-425.

Wolcott J, Ishley D, Kennedy W, Johnson S, Minnich S. Clinical investigation of second mesiobuccal canals in endodontically treated and retreated maxillary molars. J Endod 2002 ; 28 : 477-479.

Zaugg B, Stassinakis A, Hotz P. Influence of magnification tools on the recognition of simulated preparation and fillings error. Schweiz M. Zahnmed 2004 ; 114 : 890-896.

6684_.indb 469 10/08/12 12:05